

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日      2002年11月15日  
Date of Application:

出願番号      特願2002-332434  
Application Number:

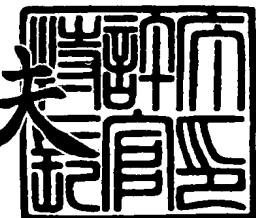
[ST. 10/C] : [JP2002-332434]

出願人      株式会社半導体エネルギー研究所  
Applicant(s):

2003年 9月 2日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2003-3071654

**【書類名】**

特許願

**【整理番号】**

P006734

**【提出日】**

平成14年11月15日

**【あて先】**

特許庁長官 太田 信一郎 殿

**【発明者】****【住所又は居所】** 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半導体エネルギー研究所内**【氏名】** 荒尾 達也**【発明者】****【住所又は居所】** 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半導体エネルギー研究所内**【氏名】** 山崎 舜平**【特許出願人】****【識別番号】** 000153878**【氏名又は名称】** 株式会社半導体エネルギー研究所**【代表者】** 山崎 舜平**【手数料の表示】****【予納台帳番号】** 002543**【納付金額】** 21,000円**【提出物件の目録】****【物件名】** 明細書 1**【物件名】** 図面 1**【物件名】** 要約書 1**【ブルーフの要否】** 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体膜の作製方法及び半導体装置の作製方法、並びにレーザー処理装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板上に形成した半導体膜にレーザー光を照射して結晶化するに際し、前記基板の周辺部を保持して超音波震動を与えるながら該レーザー光を照射することを特徴とする半導体膜の作製方法。

【請求項 2】

基板上に形成した半導体膜にレーザー光を照射して結晶化するに際し、前記基板を、開孔が設けられたステージ上に保持して、当該開孔から気体を噴出して、前記基板を浮上させると共に、前記基板の周辺部を保持して超音波震動を与えるながら該レーザー光を照射することを特徴とする半導体膜の作製方法。

【請求項 3】

基板上に非晶質構造を含む半導体膜を形成し、前記基板に超音波震動を与えるながらレーザー光を照射して、前記半導体膜の結晶化を行う工程を含むことを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 4】

基板上に非晶質構造を含む半導体膜を形成し、酸素を含む雰囲気中で、前記基板を浮上させると共に超音波震動を与えながら、線状に集光したレーザー光を照射して、前記半導体膜の結晶化を行う工程を含むことを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 5】

基板上に非晶質構造を含む半導体膜を形成し、前記基板に超音波震動を与えるながら、線状に集光したレーザー光を照射して、前記半導体膜の結晶化を行う工程において、前記レーザー光の照射位置を重畠させながら、前記半導体膜の全面を結晶化することを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 6】

基板上に非晶質構造を含む半導体膜を形成し、前記非晶質半導体膜に該半導体

膜の結晶化を助長する触媒作用のある金属元素又は金属化合物を添加して加熱処理を行い結晶化し、その後、前記基板を浮上させると共に超音波震動を与えながら、線状に集光したレーザー光を照射して、前記半導体膜の結晶性の向上を行う工程を含むことを特徴とする半導体装置の作製方法。

#### 【請求項7】

基板上に非晶質構造を含む半導体膜を形成し、前記非晶質半導体膜に該半導体膜の結晶化を助長する触媒作用のある金属元素又は金属化合物を添加して加熱処理を行い結晶化し、その後、前記基板に超音波震動を与えながら、線状に集光したレーザー光を照射して、前記半導体膜の結晶化を行う工程において、前記レーザー光の照射位置を重畠させながら、前記半導体膜の結晶性の向上を行う工程を含むことを特徴とする半導体装置の作製方法。

#### 【請求項8】

基板を浮上させ水平に搬送する手段と、レーザー光を線状又は矩形状に集光する光学系と、前記基板に超音波振動を与える手段とを備えたことを特徴とするレーザー処理装置。

#### 【請求項9】

基板の周辺部を保持して一方向に移動させる手段と前記基板を浮上させる手段により、前記基板の水平方向の移動を可能とし、レーザー光を集光して前記基板に照射する光学系が備えられ、前記基板を保持する部位から該基板に超音波振動を与える手段が付加されていることを特徴とするレーザー処理装置。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は、結晶構造を有する半導体膜の作製方法及びそれを用いた半導体装置の作製方法に関し、具体的には半導体膜にレーザー光を照射して結晶化又は結晶性を向上させる技術に関するものである。また、本発明は、当該半導体膜又は半導体装置の作製に用いるレーザー処理装置に関する。

##### 【0002】

#### 【従来の技術】

ガラス基板上に堆積した非晶質シリコン膜に、レーザー光を照射して多結晶シリコン膜を形成する結晶化技術が知られている。パルス発振するエキシマレーザー発振器はこの結晶化技術において代表的に用いられている光源である。パルス発振レーザー光の照射によりシリコンは瞬間的に加熱されて溶融し、その後の冷却過程で結晶化が起こると考えられている。その結果、異なる面方位を持った複数の結晶粒が集合した多結晶体が形成されることが知られている。

#### 【0003】

典型的に用いられているエキシマレーザーを用いた非晶質シリコンの結晶化は、発振パルス幅が数十～数百ナノ秒のパルス発振レーザー光の照射を照射して、シリコンを選択的に加熱することが可能であり、ガラス基板に熱的な損傷を与えることなく結晶化することが可能となっている。この結晶化技術は、液晶表示装置で使う薄膜トランジスタ（Thin Film Transistor：TFT）の半導体層を形成する技術として注目を集めている。

#### 【0004】

従来よく用いられている多結晶シリコン膜は、図5で示すように、ガラス基板10上に窒化シリコンや酸化シリコンなどの下地絶縁膜11を形成し、その上に形成した50nmの非晶質シリコン膜を、周波数300Hzでパルス発振（発振パルス幅30nsec）するエキシマレーザー光を照射して結晶化したものである。その多結晶シリコン膜13には、その表面に山脈状の突起14が形成される。

#### 【0005】

TFTを形成する場合、その上に100nm程度のゲート絶縁膜を形成することになるが、突起の部分で電界集中が起こり、ゲートリーエク電流を増加させ、ゲート絶縁膜の耐圧を低下させる要因となっている。その対策として、レーザー光を照射して結晶化する際に、基板に超音波振動を与えることで、不純物の偏析を阻止して、表面に不純物の偏析による突起の発生を抑制する技術が開示されている（特許文献1参照）。

#### 【0006】

##### 【特許文献1】

特開平11-204433号公報

**【0007】****【発明が解決しようとする課題】**

これまでの経験的な知見として、レーザー光を照射して非晶質シリコン膜を結晶化するときに、酸素を含む雰囲気中で結晶化を行うと大粒径化が図られることが知られている。

**【0008】**

パルス発振するエキシマレーザー光を、光学レンズを組み合わせて線状に集光し、その線状ビームを走査することにより、ガラス基板上の非晶質シリコン膜の全面を結晶化することを可能としている。しかしながら、レーザー光が照射された半導体膜は高温となり溶融状態ともなるので、雰囲気中にある酸素や窒素などと反応して、それが膜表面又は膜中に不純物として取り込まれる。すなわち、外因性の不純物が混入する。それが結晶欠陥の原因となる。或いは、結晶粒界に偏析して結晶の品質を著しく損なう要因と考えられる。

**【0009】**

このような不純物の混入は非意図的に発生してしまうので、レーザー光で処理した結晶性の半導体膜は局所的に異なった特性を内包することとなる。従って、これを用いて作製するTFTの特性ばらつきの要因となり、同一の基板面内においても複数のTFT素子間でばらついてしまう問題が生じてしまう。

**【0010】**

上記した特許文献1では、基板に超音波振動を与えることで、不純物の偏析を阻止して、表面に不純物の偏析による突起の発生を抑制することが示されている。しかし、ガラス基板を載置するステージに超音波震動源を接続する方法では、ガラス基板に反りがあるのでステージと完全に密着せず、効率良く超音波震動を伝搬させることができない。その傾向はガラス基板のサイズが大きくなるに従い益々顕著になる。

**【0011】**

本発明は、このような問題点に鑑み成されたものであり、レーザー光を照射して半導体膜の結晶化又は結晶性の改質を行うに際し、不純物の偏析を抑制する技術を提供することを目的とする。

### 【0012】

#### 【課題を解決するための手段】

本発明者は、レーザー光を照射して結晶化した半導体膜について、その結晶性がばらつく原因を以下のように考察した。この考察について図4を用いて説明する。

### 【0013】

図4 (A) で示すように、非晶質シリコン膜12は基板10上に下地絶縁膜11を介して形成されている。パルス発振レーザー光20aが照射された領域は結晶化して、結晶性シリコン膜13が形成される。このとき、大気雰囲気中など酸素を含む雰囲気中でパルス発振レーザー光20aを照射すると、シリコンは加熱されて溶融状態となる。一例として、パルス発振レーザー光20の発振周波数は300Hz、パルス幅は30nsecとすると、次のパルス発振レーザー光が照射される迄の間にシリコンは冷却され固化してしまう。パルス発振レーザー光の照射から固化する迄の間に結晶化は進行するが、シリコンは高温となるので、大気中で処理を行うと表面に酸化物14(SiO<sub>x</sub>)が形成されるのを避けることはできない(図4 (A))。

### 【0014】

ここで、レーザー光の照射領域を重畠させて次のパルス発振レーザー光20bを照射すると、シリコンよりも融点の高い酸化物14が切片となり、そのまま溶融したシリコン中に混入してしまう(図4 (B) で示す14bなど)。この酸化物14bが偏析して結晶粒界に集まると、その量の大小又は有無により電気抵抗のばらつきとして現れる。すなわち、結晶粒界におけるバリアの影響の大小として現れることとなる。

### 【0015】

レーザー光を窒素雰囲気中で照射した場合には、窒化物(SiNx)の切片が同様に溶融したシリコンの中に混入して、結晶粒界に偏析することが予想される。

### 【0016】

酸化物や窒化物は共に電気絶縁性であるため、電気伝導性のばらつきは小さく

ならない。また、酸化物の切片は溶融した半導体中において、一部の酸素が溶けた分混入して格子歪みを緩和する方向に働く。また、水素化における水素を取り込むことを窒化物のようにじやまをしないため、電気的特性は窒素雰囲気中で行うよりも、酸化雰囲気中で行う方が良好となることを期待できる。

#### 【0017】

本発明は、レーザー光を照射してシリコンに代表される半導体膜の結晶化又は結晶性の改善を図る処理において、基板又は基板上の半導体膜に超音波振動を与えて行うものであり、それにより酸化物又は窒化物の切片を細かく粉碎し分散させることにより、酸化物又は窒化物などの偏析を防ぐものである。

#### 【0018】

本発明は、基板上に形成した非晶質半導体膜の結晶化、又は多結晶性半導体膜の結晶性の改質、或いはイオン注入後の再結晶化などを目的とするレーザーアニール技術において、基板上に形成した半導体膜にレーザー光を照射して結晶化するに際し、該基板の周辺部を保持して超音波震動を与えながら該レーザー光を照射するというものである。また、半導体膜が形成された基板は、開孔が設けられたステージ上に保持して、当該開孔から気体を噴出して基板を浮上させると共に、基板の周辺部を保持して超音波震動を与えながら該レーザー光を照射することでより効率良く超音波振動を与えることができる。

#### 【0019】

また本発明は、基板上に形成した非晶質半導体膜の結晶化、又は多結晶性半導体膜の結晶性の改質をする工程を含む半導体装置の作製方法において、基板上に非晶質構造を含む半導体膜を形成し、該基板に超音波震動を与えながらレーザー光を照射して半導体膜の結晶化を行うというものである。

#### 【0020】

レーザー光の照射に当たっては、基板を浮上させると共に超音波震動を与えながら線状に集光したパルス発振レーザー光を照射して半導体膜の結晶化を行っても良い。パルス発振レーザー光は、その照射位置を重畠させながら移動させることで半導体膜の全面を結晶化するものである。レーザー光を照射する雰囲気は、空気中、不活性雰囲気中、還元雰囲気中、酸化雰囲気中、減圧下（若しくは真空

中)で行うことができる。

#### 【0021】

また本発明は、基板を浮上させ水平に搬送する手段と、レーザー光を線状又は矩形状に集光する光学系と、前記基板に超音波振動を与える手段とを備えたレーザー処理装置である。基板の周辺部を保持して一方向に移動させる手段と、基板を基板を浮上させる手段とにより基板の水平方向の移動を可能とし、レーザー光を集光して前記基板に照射する光学系が備えられ、基板を保持する部位から該基板に超音波振動を与える手段が付加されているものである。

#### 【0022】

超音波振動のエネルギーは、レーザー光の照射により表面に形成された酸化物又は窒化物を粉碎するのに利用する。その振動周波数は100kHz以上であり、30MHz未満とする。超音波振動による効果はその振動周波数によって異なり、切片を細かく粉碎するには100kHz以上であり、2MHz以下を選択するのが好ましい。また、半導体膜表面の突起を無くすには1MHz以上であり、30MHz未満を選択することが好ましい。

#### 【0023】

すなわち、図3で示すモデルのように、基板10に形成した下地絶縁膜11上の非晶質シリコン膜12に、超音波振動を加えながらパルス発振レーザー光20aを照射して結晶性シリコン膜13を形成する。その過程で半導体膜の表面には酸化物14(SiO<sub>x</sub>)が形成されるが、超音波振動により酸化物は細かく粉碎されてしまう(図3(A))。また、パルス発振レーザー光20bが照射された後も酸化物14が結晶性シリコン膜13に特定の領域に偏析するのを防ぐことができる(図3(B))。このため、結晶粒界には酸化物の切片が集まるのが抑制され、電気抵抗のばらつきを低減することが可能となる。

#### 【0024】

レーザー光の照射により半導体膜の表面に酸化物や窒化物が生成するのを防ぐために、希ガス雰囲気中、還元雰囲気中、又は真空中で処理を行っても良い。

#### 【0025】

上記したように、本発明は、非晶質半導体膜を形成した基板に超音波振動を与

えながらレーザー光を照射することで不純物の偏析のない結晶化を行うものである。本発明はさらに、触媒元素を用いる半導体膜の結晶化法にも適用することができる。すなわち、基板上に形成した非晶質半導体膜に、その半導体の結晶化を助長する触媒作用のある金属元素又は金属化合物を添加して、加熱処理により当該半導体膜の一部又は全部を結晶化した後に、超音波振動を与えながらレーザー光を照射することで、非意図的に混入する不純物や前記金属元素又は金属化合物を特定の領域に偏析させることなく結晶化することを可能とする。

### 【0026】

なお、本発明でいう非晶質半導体膜とは、狭義の意味で完全な非晶質構造を有するものだけではなく、微細な結晶粒子が含まれた状態、又はいわゆる微結晶半導体膜、局所的に結晶構造を含む半導体膜を含む。代表的には非晶質シリコン膜が適用され、その他に非晶質シリコンゲルマニウム膜、非晶質シリコンカーバイド膜などを適用することもできる。

### 【0027】

#### 【発明の実施の形態】

本発明の実施の形態を図面を用いて詳細に説明する。但し、本発明は以下の説明に限定されず、本発明の趣旨及びその範囲から逸脱することなくその形態及び詳細を様々に変更し得ることは当業者であれば容易に理解される。従って、本発明は以下に示す実施の形態の記載内容に限定して解釈されるものではない。

### 【0028】

#### (第1の実施の形態)

図1は本発明に係るレーザー処理装置の一態様を示す図である。この装置はレーザー発振器101、光学系102、ステージ103、基板浮上手段104、基板114を手持して移動させる移動手段105と、そのチャック部107に超音波振動を与える超音波振動源106とを含んでいる。

### 【0029】

光学系102は、レーザー発振器101から放射されるレーザー光を集光及び伸張して、照射面形状を細い線状に成形するものである。光学系102の構成は適宜設計すれば良いが、例えば、シリンドリカルレンズアレイ110、シリンド

リカルレンズ111、ミラー112、ダブルエットシリンドリカルレンズ113などを用いて構成する。レンズの大きさにもよるが、長手方向は100～400mm程度、短手方向は100～500μm程度の線状レーザービームを照射することが可能である。

### 【0030】

また、レーザー光の照射部周辺の雰囲気制御を目的として、気体供給手段108とノズル109が備えられていても良い。レーザー光の照射領域周辺の雰囲気をノズル109から噴出する気体で置換することにより、特別なチャンバーを設けることなく雰囲気制御をすることができる。気体供給手段108からは、酸化性気体、還元性気体、不活性気体などの供給が可能である。気体の選択により酸素を半導体膜中に積極的に取り込ませたり、アルゴンなどの希ガスを取り込ませたりすることができる。

### 【0031】

さらに、この雰囲気制御を行う手段に加熱手段を付加して、加熱された気体をノズル109から噴出させる構成としても良い。その結果、レーザー光の照射部周辺にある基板又は基板上の半導体膜などの形成物を加熱することができる。これにより、レーザー光の照射で溶融した半導体膜の溶融時間が長くなり、基板に与える超音波振動の周波数は1MHz以下であっても平坦化の効果を得ることができる。

### 【0032】

勿論、特段このような手段を設けずに、空气中でレーザー光の照射を行っても良いし、ステージ103をチャンバー内に保持して減圧下（若しくは真空中）でレーザー光の照射を可能としても良い。

### 【0033】

レーザーは波長400nm以下の光を発振するエキシマレーザーなどの気体レーザーや、YAGレーザー、YVO<sub>4</sub>レーザー、YLFレーザーなどの固体レーザーを用いる。Cr、Nd、Er、Ho、Ce、Co、Ti又はTmがドーピングされたYAGレーザーやYVO<sub>4</sub>レーザーでは、YAGレーザーでは基本波（1064nm）の他に、第2高調波（532nm）や第3高調波（354.7nm）など

を用いることができる。これらのレーザーはパルス発振するものを用い、発振周波数は5～300Hz程度のものが採用される。

#### 【0034】

ステージ103は基板浮上手段104が備えられている。気体を噴出する開孔と吸引する開孔を設け、それぞれの流量や流速を制御して基板114をステージ103上で浮上させるものである。この基板浮上手段104と、基板の周辺部を狭持して一軸方向又は二軸方向に移動させる移動手段105とを組み合わせることにより、基板114を空間に浮かせて支持して搬送する搬送手段を構成することができる。この搬送手段を用いることにより、矩形又は線状に集光したレーザー光を基板全面に照射することができる。さらに、移動手段105のチャック部107に超音波震動源106から供給される超音波振動を与えることで、基板にその振動を効率良く伝搬させることができる。或いは、基板114はチャック107で狭持して固定し、レーザー光をガルバノミラーなどの偏向手段で走査する構成としても良い。

#### 【0035】

このようなレーザー照射装置は、特に一辺が1000mmを超える、かつ厚さが1mm以下のガラス基板を処理する場合に有用である。例えば、1200mm×1600mmや2000mm×2500mmであって、厚さが0.4～0.7mmのガラス基板を処理することもできる。ガラス基板の面積が大型化しその厚さが薄くなると、ガラス基板は容易に湾曲するが、ステージ103の構成として説明したように細孔から噴出する気体をもって基板を保持することにより平坦な面を保つて基板を保持することができる。また、超音波振動を与える移動手段105以外に物体と接触するところがないので、超音波振動を減衰させることなく効率良く与えることができる。

#### 【0036】

また、レーザー照射装置は、ノズル109から吹き付ける気体を酸化性気体、還元性気体、不活性気体から選択することで、適宜結晶化の条件を選択することができる。このようなレーザー照射装置の構成は、レーザービームの照射時の雰囲気の制御をするためのチャンバーを必要とせず、基板が大型化してもレーザー

照射装置の小型化を図ることができる。

#### 【0037】

図2 (A) (B) は、ステージ103周辺の詳細を示す図である。(A) は上面図であり (B) は断面図を示している。ステージ103上の基板114は、基板浮上手段104によって浮上し、移動手段105のチャック107に狭持されている。基板浮上手段104は、ステージ103に設けられた開孔100から気体の吹き付けと吸引を同時にやって基板の浮上する高さを調整している。チャック107には超音波震動源106から超音波振動が与えられる仕組みとなっている。

#### 【0038】

基板114は、例えば、市販の無アルカリガラス基板が選択可能であり、厚さに限定はないが、0.2～2mm程度のものが好ましい。この基板114上には、塗化シリコンや酸化シリコンなどで形成する下地絶縁膜115が形成され、その上に20～200nmの半導体膜116が形成されている。この半導体膜116は非晶質半導体膜であっても良いし、すでに熱処理などで結晶化している結晶性の半導体膜を適用しても良い。なお、図2で示す構成は、チャック107を用いて2点で基板114を狭持する構成を示しているが、本発明はこれに限定されず、基板の周辺部の複数箇所を狭持して超音波振動源との接点を多くする構成としても良い。或いは、基板の端部側面を押さえるように固定しても良い。

#### 【0039】

レーザー光117は図2で示す様に、パルス発振毎のレーザー光a～cを重ね合わせながら照射する。すなわち、パルス発振レーザー光の照射領域の重畠部分を10～99%、好ましくは80～98%の割合で重ね合わせながら照射する。

#### 【0040】

本実施の形態で示すように、基板を空間に浮上させて、該基板の周辺部から超音波振動を加えることにより、効率良く基板に超音波振動を与えることができる。それにより、半導体膜中に非意図的に混入する不純物を特定の領域に偏析させることなく結晶化することができる。

#### 【0041】

## (第2の実施の形態)

本実施の形態では、複数のレーザー光を用い、その照射領域を重畠させるレーザー処理装置の一態様について図6と図7を用いて説明する。本実施の形態に係るレーザー処理装置は、個体レーザーの第2高調波を成形してビームスポットの形状が長楕円又は矩形となるレーザー光をガルバノミラー等の偏向手段を用いて基板上を走査すると共に、基本波のレーザー光を重畠させて、エネルギーの補助を施すものである。

## 【0042】

第1レーザー発振器121には、レーザーダイオード(LD)励起式の固体レーザー発振器を用いることが好ましい。例えば、例えば、Nd:YVO<sub>4</sub>レーザー発振器、連続発振(CW)、第2高調波(532nm)を用いることができる。Nd:YVO<sub>4</sub>レーザー発振器は、TEM<sub>00</sub>の発振モードで、共振器にLBO結晶が内蔵されており第2高調波に変換されているものが好ましい。ビーム径は2.25mmである。広がり角は0.3mrad程度を得ることができる。

## 【0043】

光学系122は、照射面で長楕円形又は矩形にレーザー光を集光するものである。例えば、TEM<sub>00</sub>の発振モードで出力されるレーザー光の断面形状は丸型なので、これを長楕円形に変換する光学系は、シリンドリカルレンズを2枚で構成したビームエキスパンダーとし、1方向だけビームを伸張する構成を適用することができる。また、通常のビームエキスパンダーを当該ビームエキスパンダーに組み合わせて用い、広がり角を制御してもよい。

## 【0044】

次いで、偏向手段123で長楕円形状に変換されたレーザー光を偏向する。偏向手段123としてはガルバノミラーやポリゴンミラーを適用することが可能である。偏向されたレーザー光はfθレンズ124を介して基板144に照射する。fθレンズ124により楕円形状に変換された第1レーザー光125を基板144上で集光することにより、例えば短径20μm、長径400μmの長楕円形ビームを成形することができる。

## 【0045】

偏向手段123の偏向角を変化させることで、第1レーザー光125を走査する。偏向手段123の角度による第1レーザー光125のビームスポットの形状変化はfθレンズ124により抑えられる。第1レーザー光125の基板114の主表面に対する入射角度は20度とする。これにより、第1レーザー光125の入射光と基板の裏面からの反射光との干渉の発生を防ぐことができる。本実施の形態では、偏向手段123は、ガルバノミラーを一枚構成で用いて一軸方向のみの走査としている。2次元平面の全面走査するために、基板114を搬送手段により当該一軸方向と交差する方向に移動させる。第1レーザー光125の走査の速度は100～2000mm/sとし、好ましくは500mm/s程度とする。

#### 【0046】

第2高調波(532nm)を用いる第1レーザー光125に合わせて、同時に基板114に基本波(1064nm)の第2レーザー光131を照射するため、第2レーザー発振器128を設けている。第2レーザー発振器128はLD励起のNd:YAGレーザー発振器を用いる。第2レーザー光131の形成手段として、例えば、凹レンズ129よりビームを一様に拡大後、平凸シリンドリカルレンズ130を用いて一方向に集光して成形する。また、他の構成の光学系により同様なビームを形成してもよい。第2レーザー光131のエネルギー分布を均一するためにホモジナイザを用いてもよいが、そのときはレーザー光の干渉性を考慮して設計する必要がある。例えば、レーザービームを分割して合成することでエネルギー分布を平均化する方法がホモジナイザで用いられるが、その場合にはレーザー光のコヒーレント長以上の光路差を、分割されたレーザー光のそれぞれに付けるなどの処置をして干渉の発生を抑制することが必要となる。

#### 【0047】

ステージ103は基板浮上手段104が備えられている。この手段と、基板の周辺部を狭持して一方向又は二方向に移動させる移動手段105とを組み合わせることにより、薄い基板を空間に浮かせて支持して搬送する搬送手段を構成することができる。基板移動手段105のチャック部107に超音波震動源106から供給される超音波振動を与えることで、基板にその振動を効率良く伝搬させることができる。

### 【0048】

図6は、ステージ103周辺の詳細を示す図である。基板114上に非晶質シリコン膜116が形成されているものを結晶化する様子を示している。基板114は、基板浮上手段によって浮上しているものであり、移動手段105のチャック107に保持されている。チャック107には超音波震動源106から超音波振動が与えられる仕組みとなっている。

### 【0049】

第2レーザー光131は、偏向手段で走査される第1レーザー光125の走査方向に伸張されている。そして、第1レーザー光125が一軸方向に走査されて照射する領域を完全に覆うようにすることが好ましい。

### 【0050】

発振波長が1064nmであるNd:YAGレーザーの基本波は、シリコンの吸収係数が $10^4/\text{cm}$ 以下となり小さいが、第2高調波を同時に照射して溶融させると基本波の吸収係数が増加する。すなわち、シリコンの液化による吸収係数の上昇を利用してすることで、基本波での結晶化を容易にする。その効果は、シリコン膜の急激な温度変化を抑えることや、出力の小さい第2高調波のエネルギーを補助して結晶化を容易にすることである。基本波は高調波とは異なり、波長変換のための非線形光学素子を用いる必要がなく、非常に大出力なレーザー光を得ることができる。例えば、高調波の100倍以上のエネルギーをもつものを得ることが可能である。非線形光学素子の対レーザーの耐力が非常に弱いために、このようなエネルギー差が生じる。また、高調波を発生させる非線形光学素子は変質やすく、固体レーザーの利点であるメンテフリーの状態を長く保てない等の欠点がある。

### 【0051】

本実施の形態のように、半導体膜に溶融帯を形成して、それを連続的に走査して結晶化する場合においても、超音波震動を与えることにより半導体膜中に非意図的に混入する不純物を特定の領域に偏析させることなく結晶化することが可能となり、同時に不純物の偏析をなくした結晶性の半導体膜を形成することができる。

### 【0052】

(第3の実施の形態)

本実施の形態では、溶媒を介して超音波震動を基板に与える構成を設けたレーザー照射装置の構成について図14を用いて説明する。

### 【0053】

図14 (A) はレーザー光117が照射される基板114を上面から見た図であり、基板114の両端にガイドレール150が備えられている。ガイドレール150には超音波震動子150が備えられており、そこから基板114に超音波震動を与える仕組みとなっている、すなわち、図14 (B) で示すように、ガイドレール150の内側には溶媒152が入れられており、それを介して基板114に超音波震動を伝搬している。溶媒152としては、液体またはゼリー状の物質で良く、基板とのインピーダンスが近いものが好ましいが、簡便には水を用いても良い。このように、超音波振動子と液体を介在させて接触することで、効率良く超音波振動を基板114に加えることができる。また基板114はステージ103に備えた基板浮上手段104により、浮上させておいても良い。

### 【0054】

基板114は、例えば、市販の無アルカリガラス基板が選択可能であり、厚さに限定はないが、0.2～2mm程度のものが好ましい。この基板114上には、下地絶縁膜115が形成されその上に20～200nmの半導体膜116が形成されている。基板114はガイドレール150に挟まれて固定され、レーザー光153を偏向手段により走査しても良いし、レーザー光153に照射位置は一定として、基板114を移動手段107により、ガイドレール150に沿って移動させても良い。

### 【0055】

レーザー光153はパルス発振のレーザー光、連続発振又は連続発光のレーザー光でも良く、その種類に限定はない。すなわち、本実施の形態のレーザー処理装置において、レーザー光を照射する光学系は、半導体膜に対する結晶化等の所望のレーザー処理をすることが可能なものであれば特に限定されず、第1の実施形態で示す光学系、第2の実施形態で示す光学系などと組み合わせて実施するこ

とができる。

#### 【0056】

また、本実施の形態によれば、基板114の水平面に対して平行な方向に超音波振動を与えることが容易となる。それにより、半導体膜中に非意図的に混入する不純物を特定の領域に偏析させることなく結晶化することが可能となり、同時にレーザー光の照射による不純物の偏析や半導体膜表面の突起の形成を抑制することができる。

#### 【0057】

(第4の実施の形態)

本発明は、非晶質半導体膜を形成した基板に超音波振動を与えながらレーザー光を照射することで、不純物の偏析のない結晶化を可能としている。しかしながら、本発明はこれに限定されず、例えば、触媒元素を用いる半導体膜の結晶化法にも適用することができる。

#### 【0058】

まず、図8(A)で示すように、基板201上に酸化シリコン膜、窒化シリコン膜又は酸窒化シリコン膜等の絶縁膜から成る下地絶縁膜202を形成する。代表的にはSiH<sub>4</sub>、NH<sub>3</sub>及びN<sub>2</sub>Oを反応ガスとしてプラズマCVDにより400℃の基板加熱温度で成膜され窒素含有量が酸素含有量よりも多い又は同程度の第1酸窒化シリコン膜と、SiH<sub>4</sub>及びN<sub>2</sub>Oを反応ガスとしてプラズマCVDにより400℃の基板加熱温度で成膜され酸素含有量が窒素含有量よりも多い第2酸窒化シリコン膜を積層形成する構造である。

#### 【0059】

この構成において、第1酸窒化シリコン膜を高周波スパッタリング法で形成する窒化シリコン膜と置き換えてても良い。当該窒化シリコン膜は、レーザー光の照射時においても、ナトリウム(Na)等ガラス基板に微量に含まれるアルカリ金属が拡散するのを防ぐことができる。

#### 【0060】

TFTのチャネル部やソース及びドレン部を形成する半導体層は、下地絶縁膜202上に形成した非晶質シリコン膜203を結晶化して得る。プラズマCV

D法で300℃の基板加熱温度で成膜する非晶質シリコン膜は20～60nmの厚さで形成する。半導体層は非晶質シリコン膜に換えて非晶質シリコンゲルマニウム ( $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ;  $x = 0.001 \sim 0.05$ ) 膜を適用しても良い。

#### 【0061】

結晶化はニッケル (Ni) 等半導体の結晶化に対し触媒作用のある金属元素を添加して結晶化させて行う。図8 (A) では白金 (Pt) 含有層204を非晶質シリコン膜203上に保持させた後、輻射加熱又は伝導加熱による熱処理で結晶化を行う。例えば、ランプの輻射を熱源としたRTA (Rapid Thermal Anneal)、又は加熱された気体を用いるRTA (ガスRTA) で設定加熱温度740℃で180秒のRTAを行う。設定加熱温度はパイロメータで測る基板の温度であり、その温度を熱処理時の設定温度としている。他の方法としては、ファーネスアーナー炉を用いて550℃にて4時間の熱処理がありこれを用いても良い。結晶化温度の低温化及び時短化は触媒作用のある金属元素の作用によるものである。

#### 【0062】

結晶性シリコン膜205に対し、更に結晶性を向上させるためにレーザー処理を加える (図8 (B))。このレーザー処理は第1の実施の形態、第3の実施の形態、または第3の実施の形態のレーザー処理装置を用いて行うことができる。すなわち、基板201をチャック107で狭持して超音波振動源106からの超音波振動を与えてパルス発振又は連続発振するレーザー光206を照射する。レーザー光206は図1で示すようにパルス発振のエキシマレーザー光、又は図7で示すように連続発振のレーザー光を照射する方法のどちらでも良い。或いは、連続発光するエキシマレーザー光を照射しても良い。

#### 【0063】

このレーザー光206の照射により、非晶質領域を無くし結晶化率を向上させるなどの結晶性の向上を図ることができる。同時に、結晶性シリコン膜205中に残存する金属元素を分散させることができる。こうして結晶性シリコン膜207を得る (図8 (C))。

#### 【0064】

図9で示すゲッタリングは、結晶性シリコン膜中に含まれる金属等の不純物を

除去するために行う。すなわち、図8（A）で添加した白金（Pt）を $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 以下の濃度にまで低減するために行う。図9で示す様に、結晶性シリコン膜207上にバリア層208を介在して非晶質シリコン膜209を形成し、ゲッタリングサイトとしている。非晶質シリコン膜209にはリンやボロン等の不純物元素、又はAr、Kr、Xe等の希ガス元素、酸素、窒素等を $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 以上含ませて歪み場を形成する。好ましい形成方法として高周波スパッタリングでArをスパッタガスとして非晶質シリコン膜を形成する。

#### 【0065】

熱処理はランプを熱源とするRTA、又は加熱された気体を用いるRTA（ガスRTA）で $750^\circ\text{C}$ 、180秒のRTAを行う。或いは、ファーネスアニール炉を用いて $550^\circ\text{C}$ にて4時間の熱処理を行う。触媒として用いた金属元素は超音波振動を加えながら行ったレーザー光の照射により分散されているので、この熱処理による金属元素の除去がされやすくなっている。すなわち、金属元素は非晶質シリコン膜209側に偏析して、結果的に結晶性シリコン膜207の高純度化をすることができる。その後、非晶質シリコン膜758はNF<sub>3</sub>やCF<sub>4</sub>を用いたドライエッチング、ClF<sub>3</sub>によるプラズマを用いないドライエッチング、或いはヒドラジンや、テトラエチルアンモニウムハイドロオキサイド（化学式（CH<sub>3</sub>）<sub>4</sub>NOH）を含む水溶液等アルカリ溶液によるウェットエッチングで除去する。またバリア層208はフッ酸でエッチング除去する。

#### 【0066】

以上のようにして結晶性の半導体膜を得ることができる。

#### 【0067】

（第5の実施の形態）

本実施の形態では、半導体膜とゲート絶縁膜及び導電層を積層した構造を有する部位に、レーザーアニールを加える加工段階を含む半導体装置の作製工程について説明する。

#### 【0068】

まず、第4の実施の形態に基づいて、基板上に形成された半導体膜を所望の形状にエッチング処理して島状に分割する。図10（A）で示す半導体膜208は

こうして形成するものであり、TFTのチャネル領域やソース及びドレイン等を形成する主要構成部となる。基板201は市販の無アルカリガラス基板等の使用が可能であり、半導体膜との間には窒化シリコン、酸化シリコン、酸窒化シリコン等の下地絶縁膜202が50～200nmの厚さで形成している。また、この半導体膜208に対し、しきい値電圧をプラス側にシフトするにはp型を付与する不純物元素を、マイナス側にシフトさせるにはn型を付与する不純物元素を添加する。

#### 【0069】

次いで、半導体膜208上に厚さ10～120nmのゲート絶縁膜209を堆積する。ゲート絶縁膜209は、プラズマCVD法又は高周波スパッタリング法により、酸化シリコン、窒化シリコン、又はこれらを積層させた複合体として形成する。スパッタリング法で形成する場合には、ターゲットとして単結晶シリコンを用い、酸素又は窒素をスパッタガスとして用いる。スパッタリングは1～120MHzの高周波電力を印加してグロー放電を形成して行う。

#### 【0070】

ゲート絶縁膜209の構成は、例えば、酸化シリコン膜を10～60nmの厚さで形成し、窒化シリコン膜を10～30nmの厚さで形成した積層構造とする。この積層構造のゲート絶縁膜は、酸化シリコンの比誘電率3.8に対し窒化シリコンの比誘電率は約7.5であることから実質的にはその薄膜化を図るのと同等の効果を得ることができる。

#### 【0071】

また、半導体膜208の表面の平滑性に関しては、レーザー光の照射時に超音波振動を与えたことにより、凹凸形状の最大値を10nm以下好ましくは5nm以下となることを可能としている。ここで、ゲート絶縁膜209を、酸化シリコン膜と窒化シリコン膜の2層構造とすれば、当該ゲート絶縁膜の全厚さを30～80nmとしてもゲートリーク電流を低減させ、2.5～10V、代表的には3.0～5.5VでTFTを駆動させることが可能となる。

#### 【0072】

ゲート絶縁膜209を形成した後、第1導電膜210を形成する。第1導電膜

210はモリブデン(Mo)、タンゲステン(W)、チタン(Ti)等の高融点金属、窒化チタン、窒化タンタル、窒化タンゲステン等の金属窒化物、タンゲステンシリサイド(WSi<sub>2</sub>)、モリブデンシリサイド(MoS<sub>2</sub>)、チタンシリサイド(TiSi<sub>2</sub>)、タンタルシリサイド(TaSi<sub>2</sub>)、クロムシリサイド(CrSi<sub>2</sub>)、コバルトシリサイド(CoSi<sub>2</sub>)、白金シリサイド(PtSi<sub>2</sub>)等のシリサイド、リンやボロンをドーピングした多結晶シリコン等この種の材料から選択する。第1導電膜210の厚さは10～100nm、好ましくは20～50nmとする。

#### 【0073】

図10(B)で示すように、RTA又はフラッシュランプアニールにより、熱源からの電磁波212を照射して第1導電膜210を加熱する。第1導電膜210が形成されている領域で温度が上昇し、局所的な加熱をすることができる。この処理により膜中に取り込まれた微小なシリコンクラスターを酸化若しくは窒化させ、また、内部歪みを緩和して膜中欠陥密度、界面欠陥準位密度を低減させることができる。

#### 【0074】

その後、図10(C)で示すように、第2導電膜213としてタンタル(Ta)、タンゲステン(W)、チタン(Ti)、モリブデン(Mo)、アルミニウム(Al)、銅(Cu)から選ばれた元素又は当該金属元素を主成分とする合金材料もしくは化合物材料を堆積する。第1導電膜210と第2導電膜213とを加工してゲート電極を形成するが、その好ましい組み合わせは第1導電膜210を窒化タンタル(TaN)膜で形成し、第2導電膜213をタンゲステン(W)とする組み合わせ、第1導電膜210を窒化タンタル(TaN)膜で形成し、第2導電膜213をTi膜とする組み合わせである。

#### 【0075】

次に、図11(A)で示すように、第1導電層211上に、ゲート電極のパターンに合わせてエッチング加工した第2導電層214を形成する。次いで、この第2導電層214をマスクとして一導電型の不純物をドーピングする。第1導電膜211を通過させて半導体膜208に一導電型の不純物を注入し、第1不純物

領域215を形成する（図11（B））。

#### 【0076】

次に、第1導電層210、第2導電層214上に酸化シリコン膜等の絶縁層を形成し、異方性エッチングによりサイドスペーサ216を形成する（図11（C））。このサイドスペーサ216と第2導電層214をドーピング時のマスクとして用い、第1導電層211を通して一導電型の不純物が添加された第2不純物領域217を自己整合的に形成する（図11（D））。

#### 【0077】

一導電型の不純物として、n型不純物（ドナー）であればリン又はヒ素等の周期律15族元素、p型不純物（アクセプタ）であればボロン等の周期律13族元素を添加する。これらの不純物を適宜選択することによりnチャネル型又はpチャネル型のTFTを作製することができる。また、nチャネル型とpチャネル型のTFTを同一基板上に作り込むことも、ドーピング用のマスクパターンを追加するのみで実施することができる。

#### 【0078】

図11（E）で示すように、ソース及びドレインを形成する第2不純物領域217、LDDを形成する第1不純物領域215の活性化は基板表面に対してレーザー光218を半導体層208に照射して不純物元素の活性化処理を行う。レーザー光218を照射する場合には、第1の実施の形態乃至第3の実施の形態で示すいずれか一のレーザー処理装置を適用しても良い。

#### 【0079】

その後、第2導電層214とサイドスペーサ216をマスクとして第1導電層210のエッチングを行う。そして、第3絶縁層219に水素を含有する酸化シリコン膜をSiH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、NH<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>の混合ガスを用いてプラズマCVD法により基板加熱温度250～350℃で形成する。膜厚は50～200nmの厚さとし、成膜後に窒素雰囲気中で410℃の加熱処理により半導体層の水素化を行う（図12（A））。

#### 【0080】

さらにアクリル又はポリイミド等を主成分とする感光性又は非感光性の有機樹

脂材料で第5絶縁層220を形成する。Al、Ti、Mo、W等の導電性材料で形成する配線221は第3～第5絶縁層に形成したコンタクトホールに合わせて設ける。第5絶縁膜を有機樹脂材料で形成することで配線間容量が低減し、又表面が平滑化されるため、この層上で配線の高密度化を実現することができる（図12（B））。

#### 【0081】

こうして、ゲートオーバーラップLDD（低濃度ドレイン）構造のTFTを完成させることができる。本実施の形態によれば、半導体膜208中における不純物の偏析による特性ばらつきの影響を排除したTFTを得ることができる。

#### 【0082】

##### （第6の実施の形態）

第5の実施の形態により作製することができる半導体装置の一例として、マイクロコンピュータの一実施形態を図13を用いて説明する。図13に示すように、0.3～1.1mmの厚さのガラス基板上に各種の機能回路を集積化したマイクロコンピュータを実現することができる。各種の機能回路部は実施の形態5により作製されるTFTによる集積回路で実現可能である。

#### 【0083】

図13で示すマイクロコンピュータ300の要素としては、CPU301、ROM302、割り込みコントローラ303、キャッシュメモリー304、RAM305、DMAC306、クロック発生回路307、シリアルインターフェース308、電源発生回路309、ADC/DAC310、タイマカウンタ311、WDT312、I/Oポート302などである。

#### 【0084】

本実施の形態ではマイクロコンピュータの形態を一例として示したが、各種機能回路の構成や組み合わせを換えれば、メディアプロセッサ、グラフィクス用LSI、暗号LSI、メモリー、グラフィクス用LSI、携帯電話用LSIなど様々な機能の半導体装置を完成させることができる。

#### 【0085】

また、その他にもガラス基板上にTFTを形成することにより、それを用いた

液晶表示装置、EL（エレクトロルミネセンス）表示装置を作製することができる。そのような表示装置を用いた電子機器として、ビデオカメラ、デジタルカメラ、ゴーグル型ディスプレイ（ヘッドマウントディスプレイ）、ナビゲーションシステム、音響再生装置（カーオーディオ、オーディオコンポ等）、ノート型パソコン、携帯情報端末（モバイルコンピュータ、携帯電話、携帯型ゲーム機又は電子書籍等）、記録媒体を備えた画像再生装置（具体的にはDigital Versatile Disc（DVD）等の記録媒体を再生し、その画像を表示しうるディスプレイを備えた装置）等が挙げられる。また、家庭電化製品として冷蔵庫、洗濯機、電子レンジ、固定電話機、ファクシミリ、真空掃除機、魔法瓶、炊飯器などに組み込む表示装置としても適用することも可能である。このように本発明の適用範囲はきわめて広く、さまざまな製品に適用することができる。

### 【0086】

#### 【発明の効果】

本発明によれば、レーザー光を照射して半導体膜の結晶化又は結晶性の改質を行うに際し、基板の外周部を保持して超音波振動を与えることにより、不純物の偏析を抑制することができる。超音波振動のエネルギーは、レーザー光の照射により表面に形成された酸化物又は窒化物を粉碎する作用があり、結晶粒界には酸化物の切片が集まるのが抑制され、電気抵抗のばらつきを低減することが可能となる。

### 【0087】

また、触媒元素を用いる半導体膜の結晶化法に本発明を適用することにより、結晶性半導体膜中に残存する金属元素を分散させることができる。それにより、その後行うゲッタリングを容易にすることができます。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係るレーザー処理装置の一態様を示す図である。

【図2】 本発明に係るレーザー処理装置のステージ部及び搬送手段の詳細を説明する図である。

【図3】 レーザー光の照射により結晶化する過程で不純物が偏析するモデルを

説明する図である。

【図4】 本発明によりレーザー光照射の過程で不純物の偏析をなくすことができるモデルを説明する図である。

【図5】 従来のレーザーニールにより形成される多結晶半導体膜を示す図である。

【図6】 本発明に係るレーザー処理装置の一態様を示す図である。

【図7】 本発明に係るレーザー処理装置のステージ部及び搬送手段の詳細を説明する図である。

【図8】 本発明に係る半導体装置の作製方法を説明する図である。

【図9】 本発明に係る半導体装置の作製方法を説明する図である。

【図10】 本発明に係る半導体装置の作製方法を説明する図である。

【図11】 本発明に係る半導体装置の作製方法を説明する図である。

【図12】 本発明に係る半導体装置の作製方法を説明する図である。

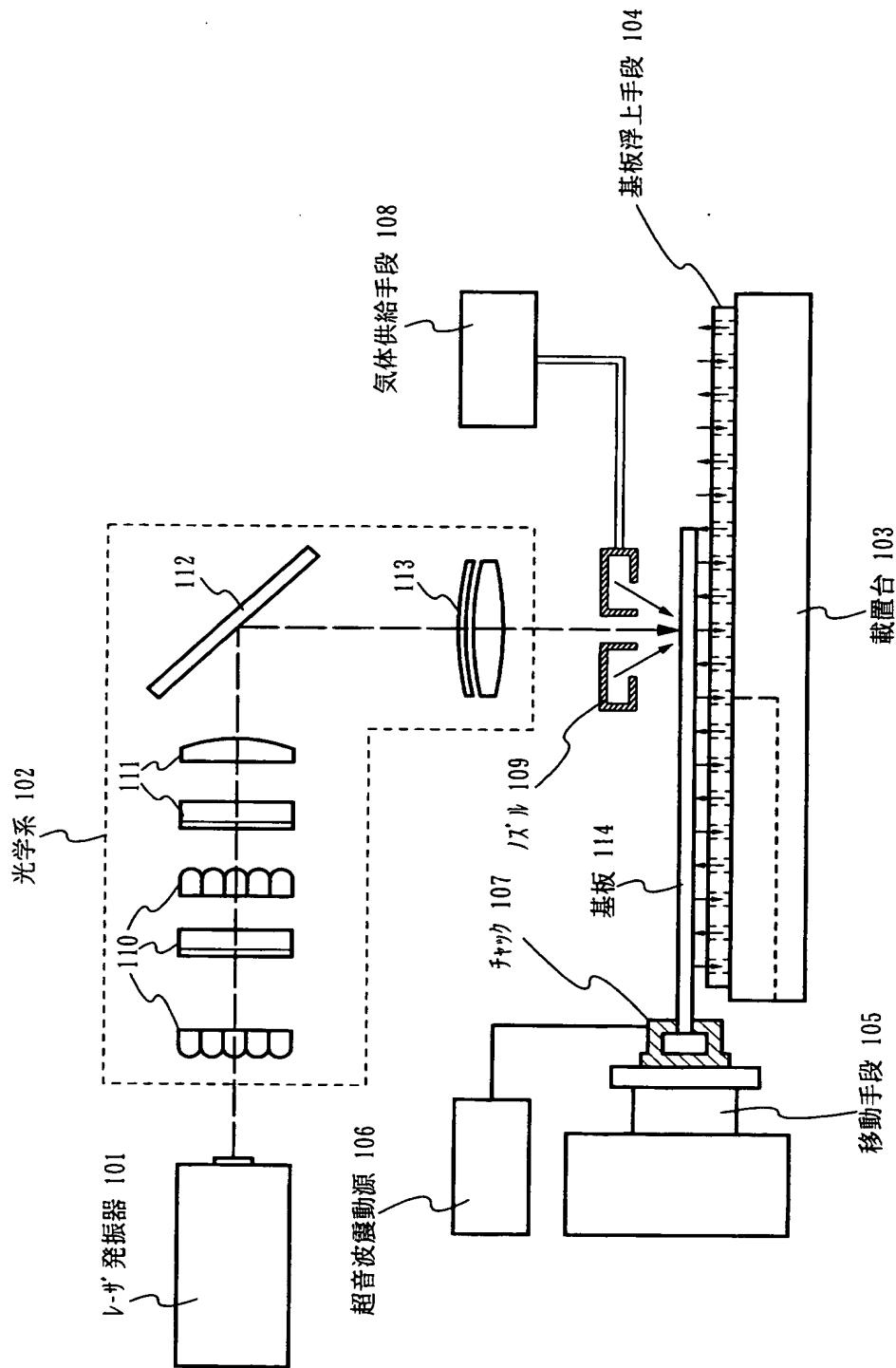
【図13】 本発明による集積回路の構成を説明する図である。

【図14】 本発明に係るレーザー処理装置のステージ部及び超音波振動を与える構成の詳細を説明する図である。

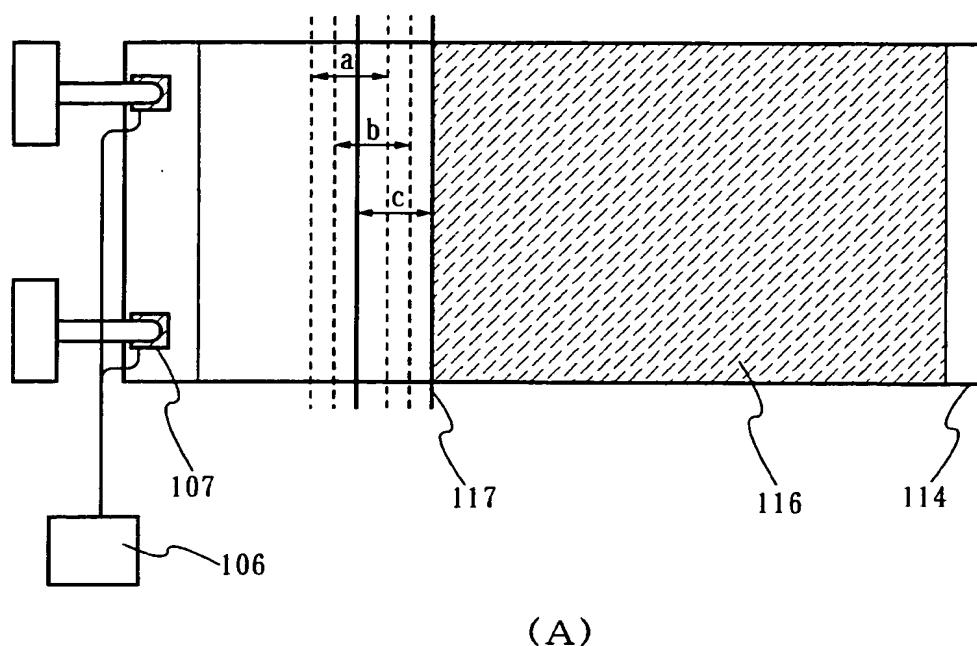
【書類名】

図面

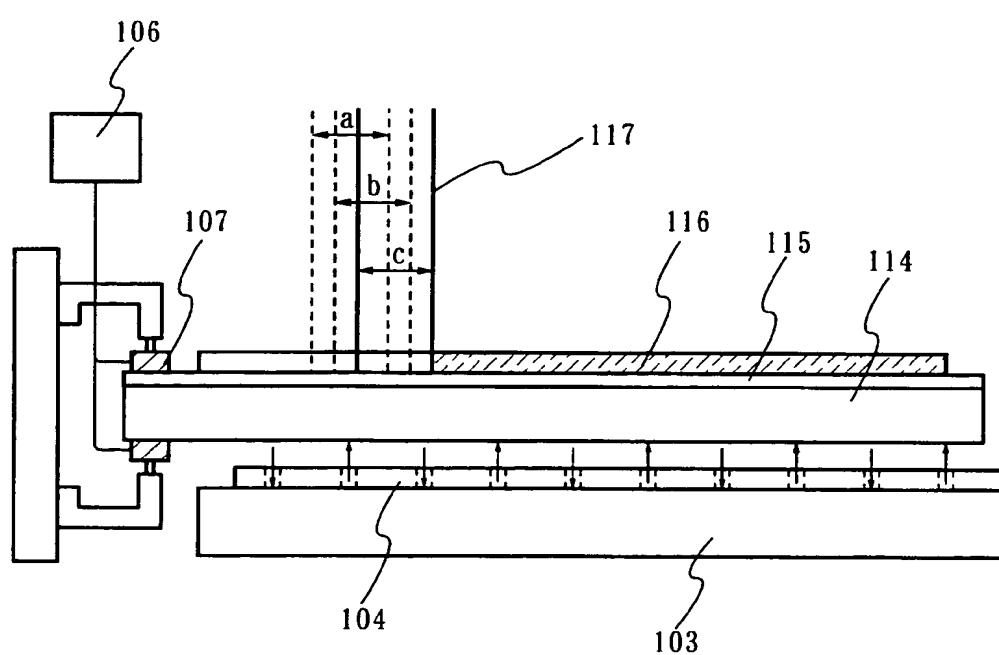
【図 1】



【図2】

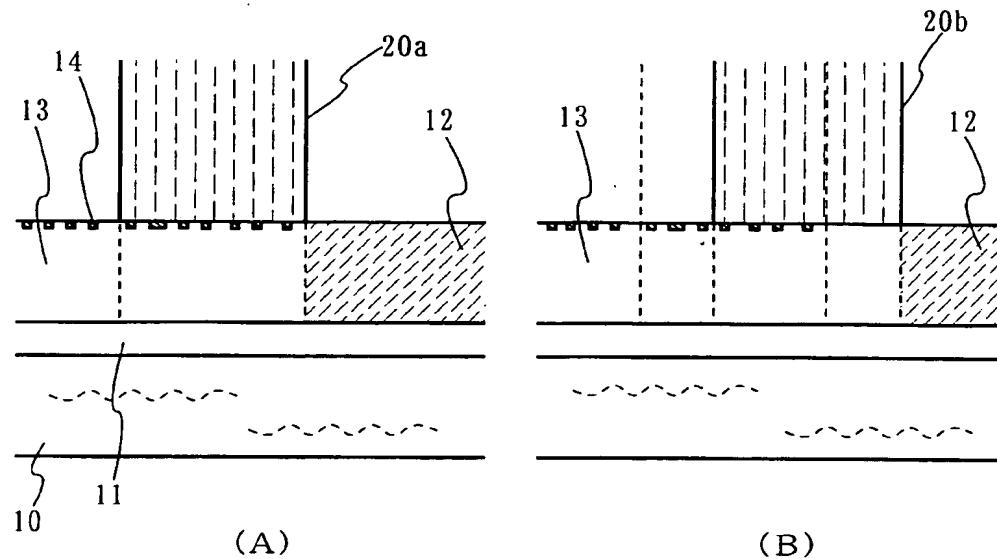


(A)

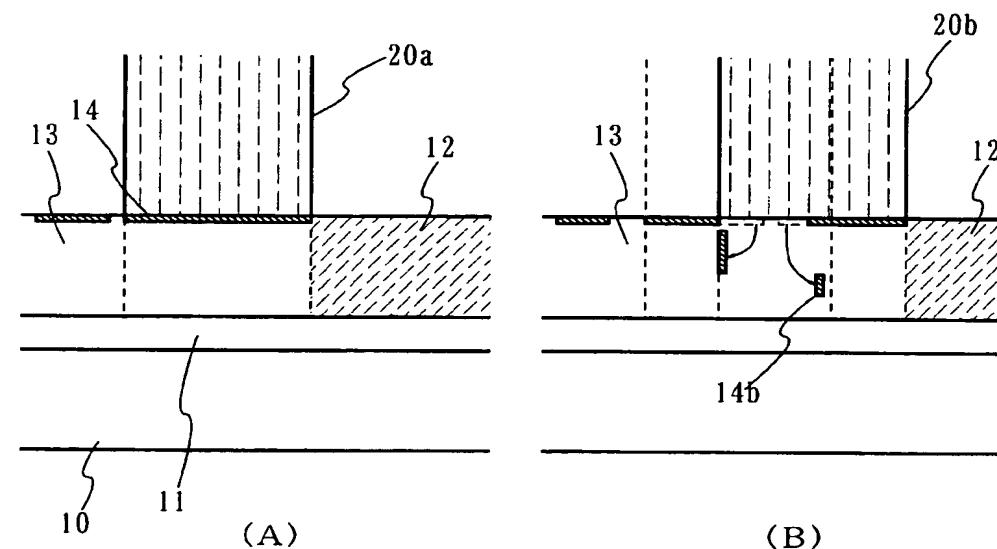


(B)

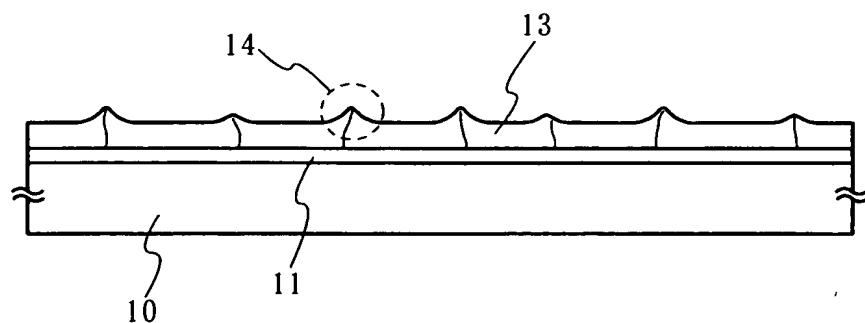
【図3】



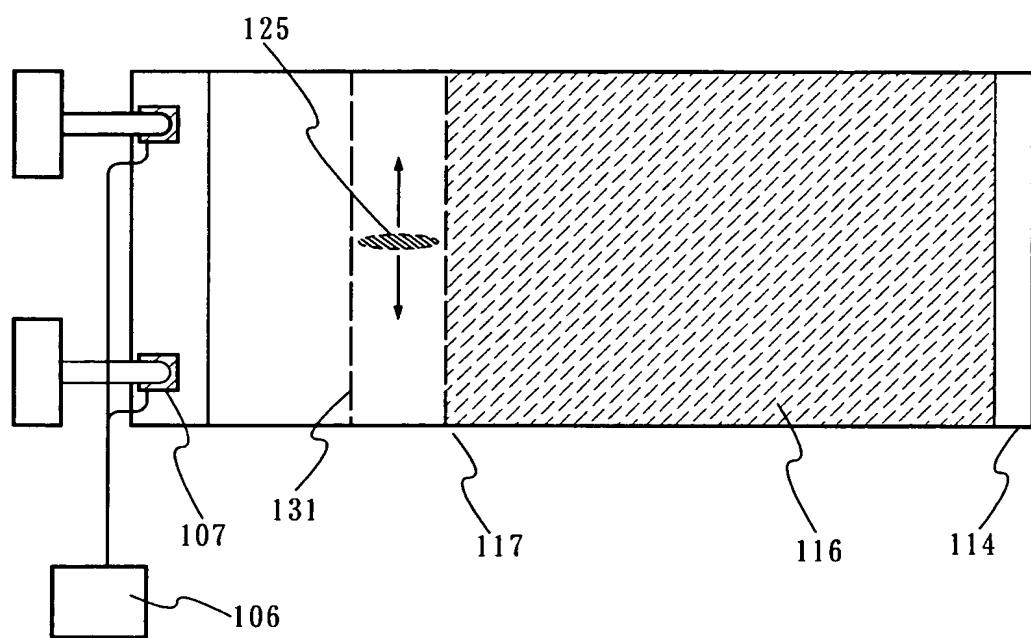
【図4】



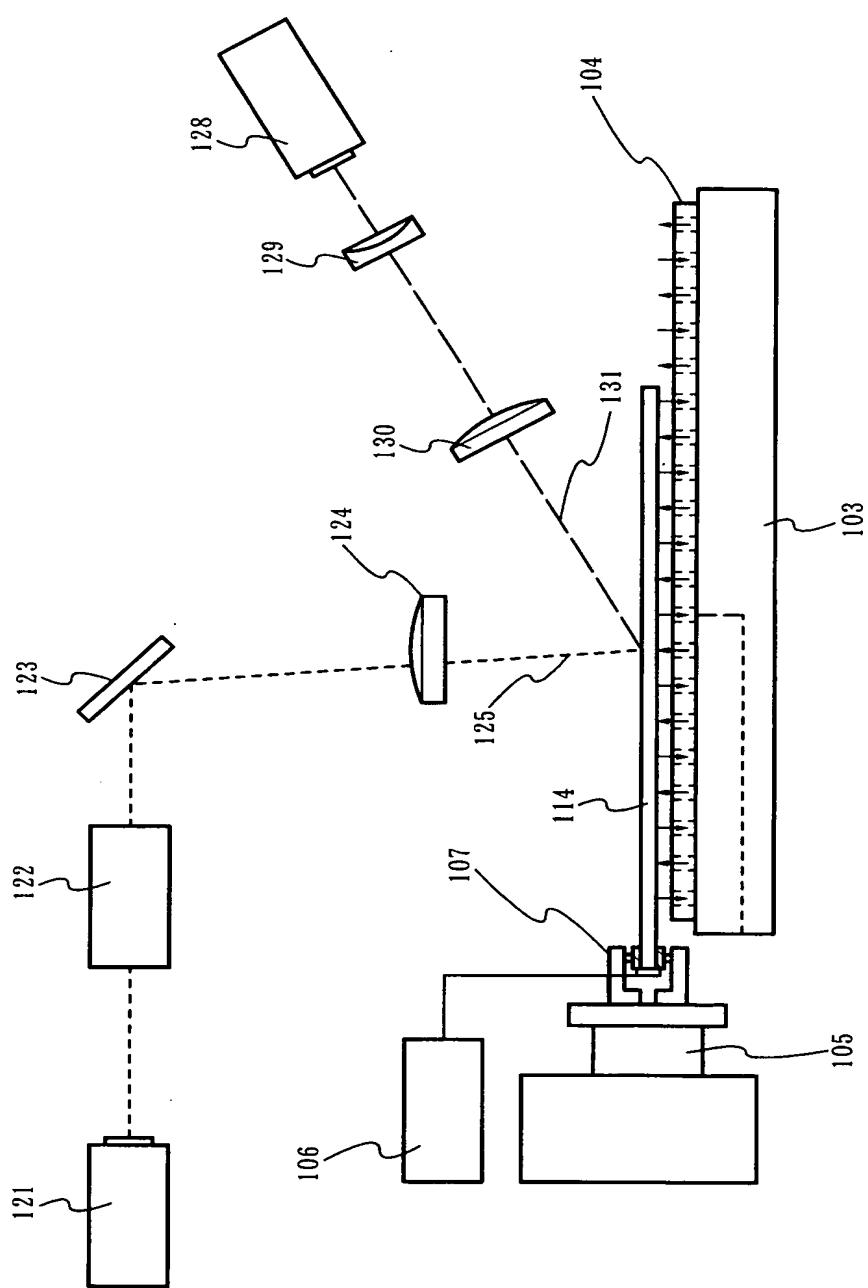
【図5】



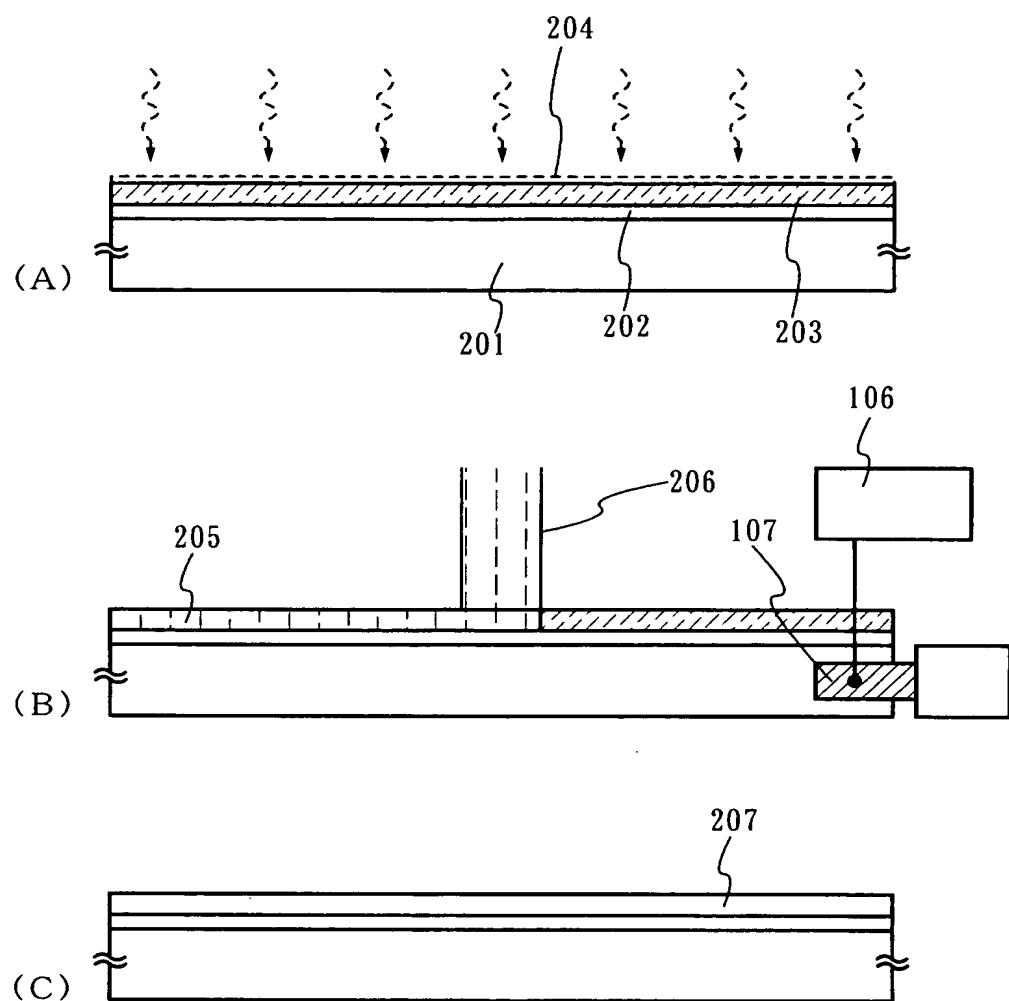
【図6】



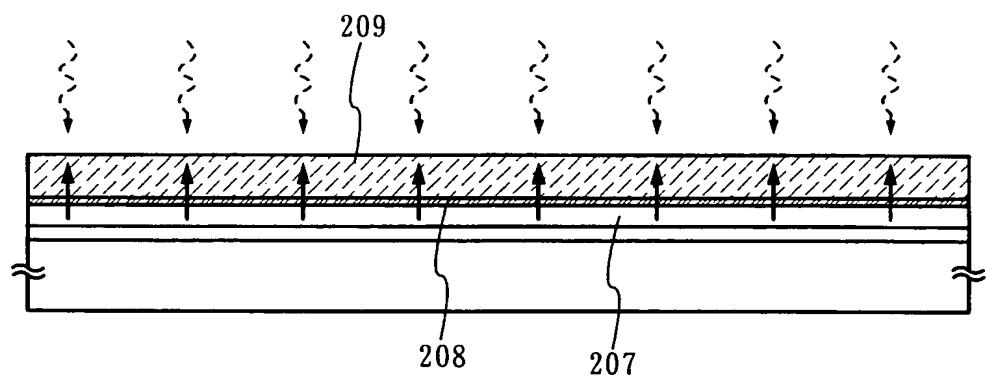
【図 7】



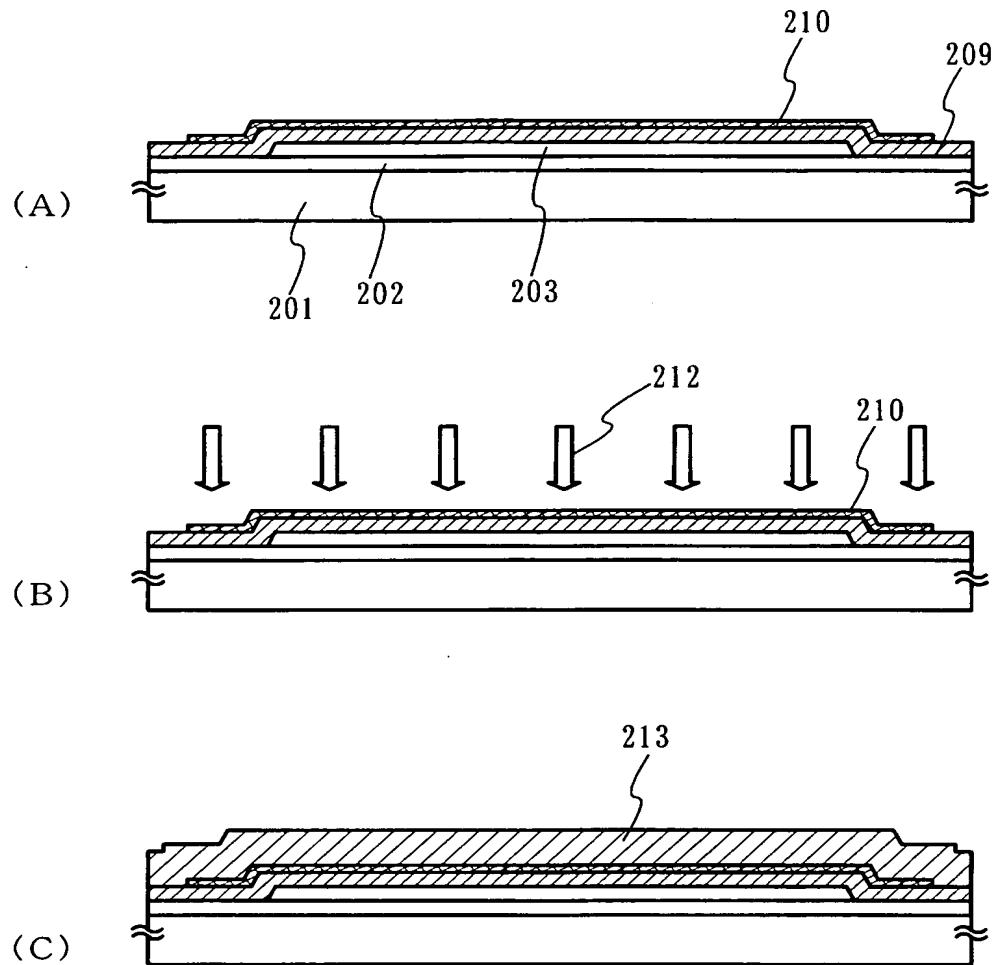
【図8】



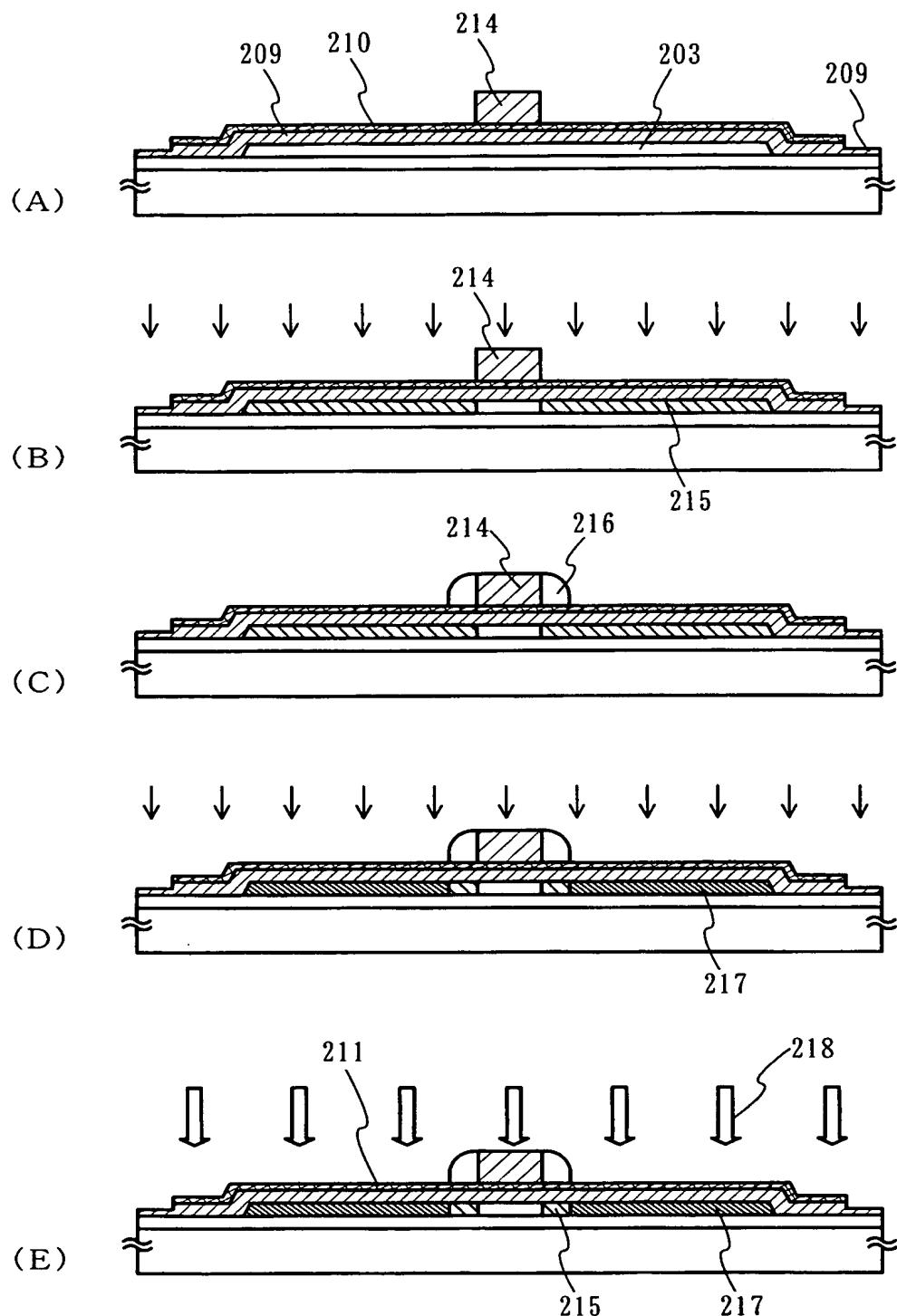
【図9】



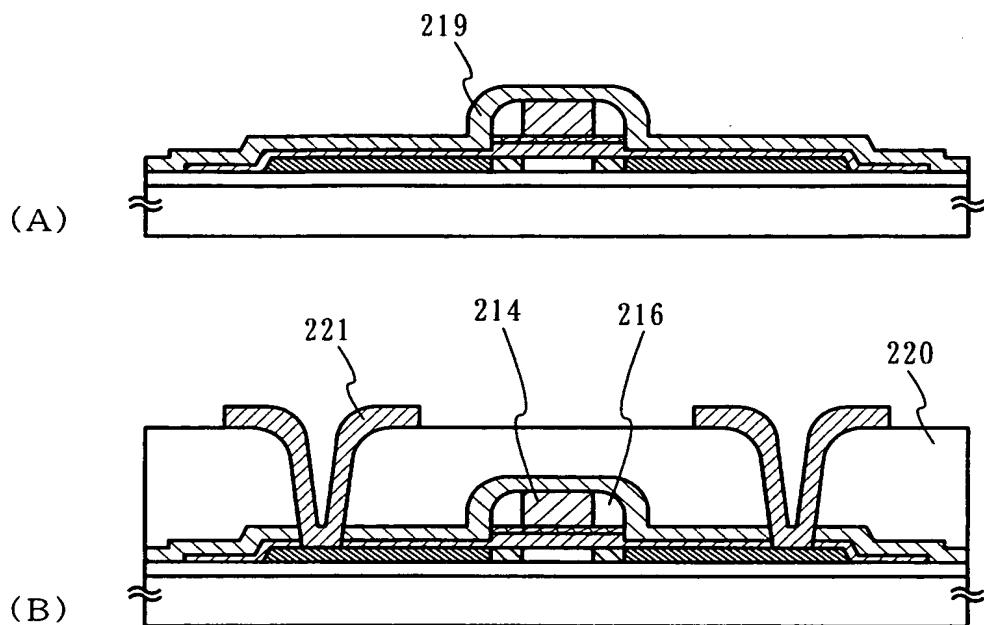
【図10】



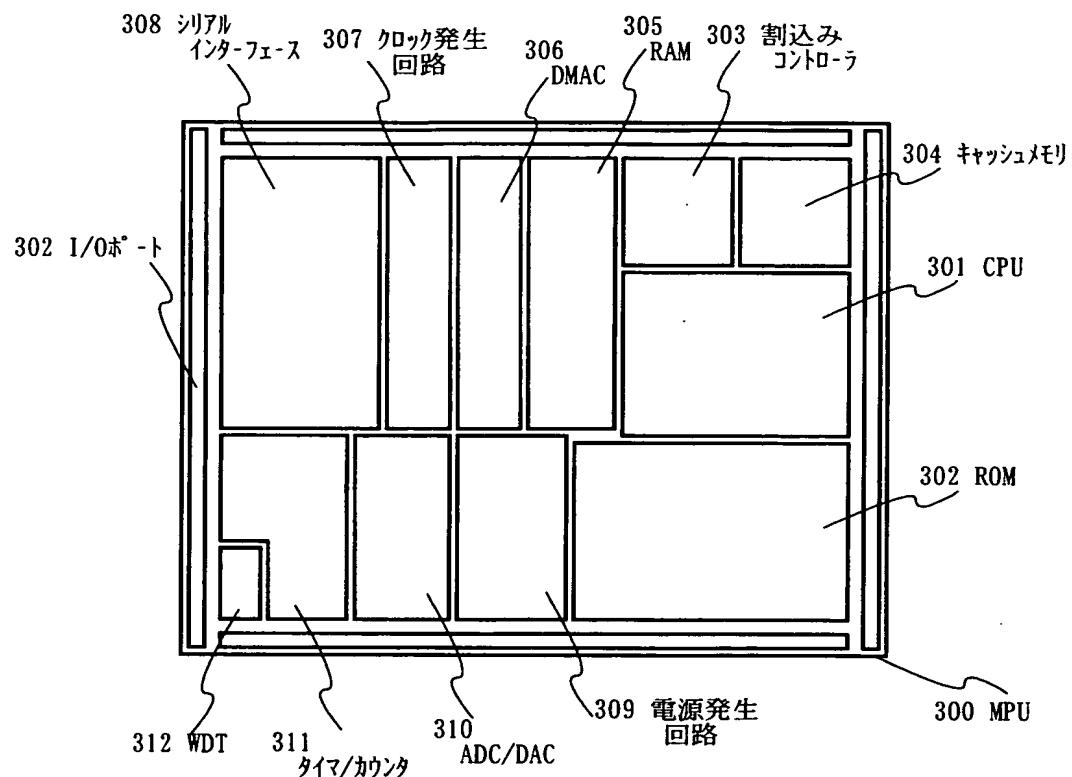
【図 11】



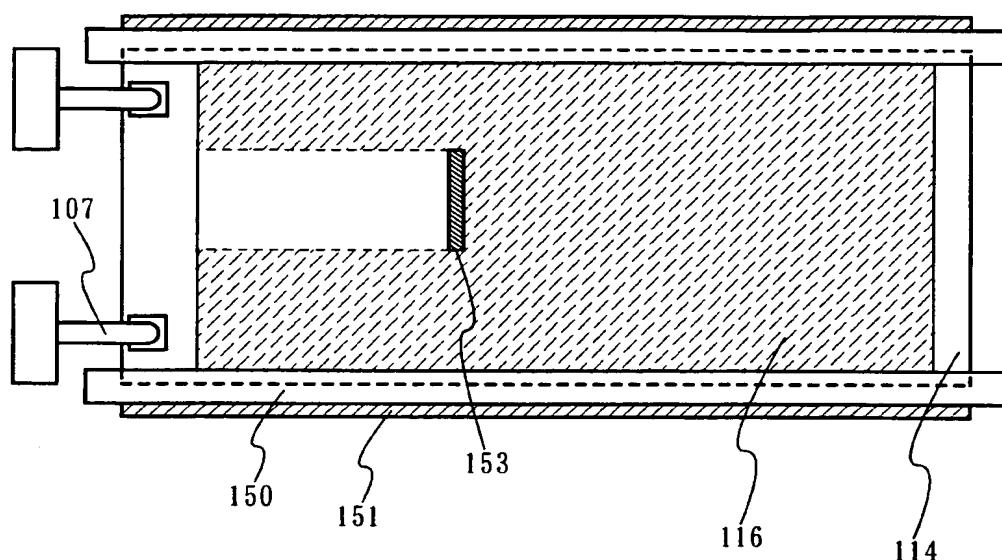
【図12】



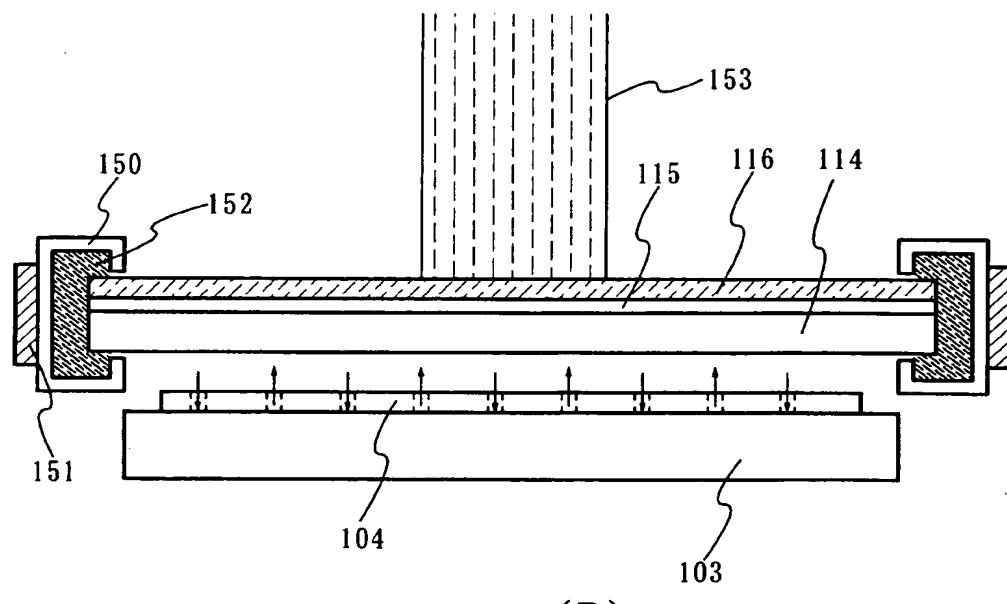
【図13】



【図14】



(A)



(B)

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 レーザー光を照射して半導体膜の結晶化又は結晶性の改質を行うに際して、不純物の偏析を抑制する技術を提供することを目的とする。

【解決手段】 本発明は、基板上に形成した半導体膜にレーザー光を照射して結晶化するに際して、該基板の周辺部を保持して超音波震動を与えながら該レーザー光を照射するというものである。また、半導体膜が形成された基板は、開孔が設けられたステージ上に保持して、当該開孔から気体を噴出して基板を浮上させると共に、基板の周辺部を保持して超音波震動を与えながら該レーザー光を照射することでより効率良く超音波振動を与えることができる。

【選択図】 図 1

特願2002-332434

出願人履歴情報

識別番号 [000153878]

1. 変更年月日 1990年 8月17日

[変更理由] 新規登録

住 所 神奈川県厚木市長谷398番地  
氏 名 株式会社半導体エネルギー研究所